

## (12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
15. Januar 2004 (15.01.2004)

PCT

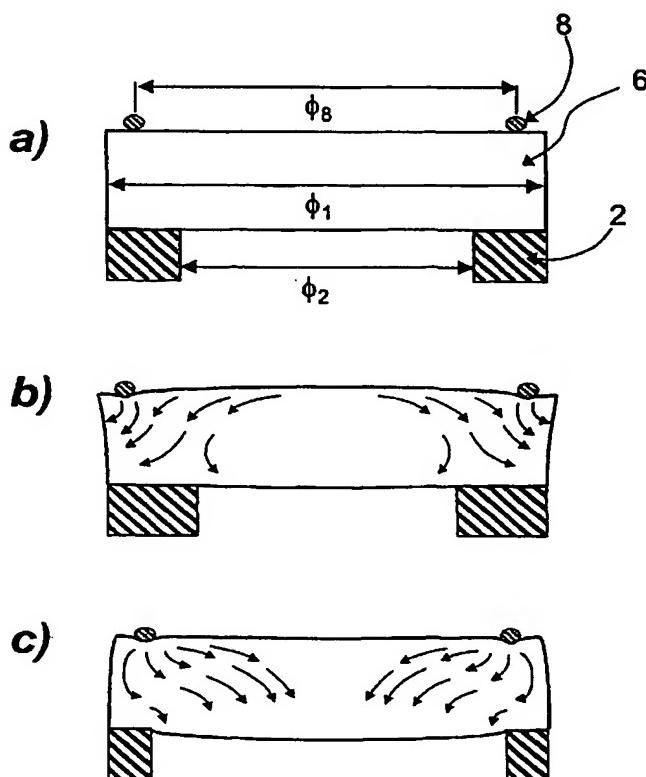
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2004/005875 A1**

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **G01L 9/00**, 19/04, 19/06
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/006961
- (22) Internationales Anmeldedatum: 1. Juli 2003 (01.07.2003)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität: 102 29 703.7 2. Juli 2002 (02.07.2002) DE
- (71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): ENDRESS + HAUSER GMBH + CO. KG [DE/DE]; Hauptstrasse 1, 79689 Maulburg (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): DREWES, Ulfert [DE/DE]; Winzerstrasse 12g, 79379 Müllheim (DE). GETMAN, Igor [RU/DE]; Carl-Keller-Weg 17, 79539 Lörrach (DE). HEGNER, Frank [DE/DE]; Chrischonastrasse 41, 79540 Lörrach (DE).
- (74) Anwalt: ANDRES, Angelika; c/o Endress + Hauser Deutschland Holding GmbH, PatServe, Colmarer Strasse 6, 79576 Weil am Rhein (DE).

*[Fortsetzung auf der nächsten Seite]*

(54) Title: CAPACITIVE PRESSURE SENSOR

(54) Bezeichnung: KAPAZITIVER DRUCKSENSOR



**(57) Abstract:** The aim of the invention is to minimize the tensioning error of a pressure sensor comprising an essentially cylindrical base body and a measurement diaphragm which is mounted on a face of the base body, the pressure-measuring cell being constrained in an axial direction between an elastic sealing ring which rests on the membrane-facing side of the pressure-measuring cell and a supporting ring which supports the rear side of the pressure-measuring cell. Said aim is achieved by matching the sizes of the sealing ring and the pressure-measuring cell in such a way that any deformation of the membrane-facing side of the pressure-measuring cell caused by axial constraining thereof is so small that the tensioning error of the pressure sensor due to a reduction of the axial constraining force by at least 10 percent is less than about 0.02 percent. The geometry of the supporting ring is determined in an iterative manner by means of FEM.

**(57) Zusammenfassung:** Zur Minimierung des Spannfehlers eines Drucksensors mit einem im wesentlichen zylindrischen Grundkörper und einer an einer Stirnfläche des Grundkörpers gefügten Meßmembran, wobei die Druckmeßzelle axial eingespannt ist zwischen einem elastischen Dichtring, der auf der membranseitigen Stirnseite der Druckmeßzelle aufliegt, und einem Stützring, der die Druckmeßzelle rückseitig abstützt, sind die Abmessungen des Stützrings solchermaßen auf die Abmessungen des Dichtrings und der Druckmesszelle abgestimmt daß eine durch die axiale Einspannung der Druckmeßzelle bedingte radiale Verformung der membranseitigen Stirnfläche so gering ist, daß der Spannenfehler des Drucksensors aufgrund einer Reduzierung der axialen Einspannkraft um mindestens 10% nicht mehr als etwa 0,02% beträgt. Die Geometrie des Stützrings wird iterativ mittels FEM ermittelt.

WO 2004/005875 A1



(81) Bestimmungsstaaten (*national*): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): ARIPO-Patent (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,

TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

## Kapazitiver Drucksensor

Die Erfindung betrifft einen kapazitiven Drucksensor, insbesondere einen kapazitiven keramischen Drucksensor.

5

Derartige Drucksensoren werden vielfach in der Prozeßmeßtechnik eingesetzt, um den Druck von Prozeßmedien zu messen, die als Flüssigkeiten, Gase oder Dämpfe vorliegen können. Im wesentlichen umfassen derartige Drucksensoren eine Druckmeßzelle aus einem Grundkörper und einer elastischen Membran, insbesondere aus einem keramischen Grundkörper und einer keramischen Membran. Am Grundkörper ist eine flache Ausnehmung vorgesehen, die auch als Membranbett bezeichnet wird und die von der Membran überdeckt wird. Im Meßbetrieb wird die Membran mit dem Druck eines Prozeßmediums beaufschlagt, und die Verformung der elastischen Membran, die beispielsweise 10 kapazitiv oder resistiv ermittelt wird, ist ein Maß für den Druck. Eine entsprechende Druckmeßzelle ist u.a. in der deutschen Offenlegungsschrift 15 DE 39 01 492 offenbart.

10

15

20

25

Im Meßbetrieb wird eine Druckmeßzelle gewöhnlich axial eingespannt zwischen einem medienseitigen elastischen Dichtring, der auf der membranseitigen Stirnfläche des Sensors aufliegt, und einem Stützring, welcher die von der Membran abgewandte Stirnfläche des Grundkörpers axial abstützt, wie beispielsweise in der deutschen Offenlegungsschrift DE 42 13 857 dargestellt ist.

Insofern, als die Verformung der Membran bei gegebenem Druck von der effektiven Membransteifigkeit abhängt, ist es erforderlich, die Membransteifigkeit nach der Kalibrierung des über den Meßbereich des Drucksensors, möglichst konstant zu halten. Es ist daher besonders wichtig, daß möglichst wenige radiale Kräfte auf die Druckmeßzelle wirken, da radial 30 einwärts wirkende Kräfte die Membransteifigkeit verringern und radial auswärts wirkende Kräfte die Membransteifigkeit vergrößern können.

**BESTÄTIGUNGSKOPIE**

Die bisherigen Bemühungen zur Verringerung des Einflusses von Radialkräften betrafen vor allem die rückseitige Reibungsentkopplung. Zu diesem Zweck ist beispielsweise bei den kapazitiven Drucksensoren, die von der Anmelderin hergesellt und unter dem Namen Cerabar vertrieben werden, eine Polymerfolie zwischen der rückseitigen Stirnfläche des Grundkörpers und dem Stützring angeordnet. Zudem wird der axiale Anpreßdruck des medienseitigen elastischen Dichtrings so weit wie möglich reduziert, um die Einleitung von Lateralkräften durch Reibsclluß zu minimieren. Die genannten Maßnahmen haben zwar bereits zu einer Verbesserung der Meßgenauigkeit geführt, aber eine weitere Reduzierung störender Radialkräfte erscheint wünschenswert.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen im obigen Sinn verbesserten Drucksensor bereitzustellen. Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch den Drucksensor gemäß des unabhängigen Patentanspruchs 1. 15 Und das Verfahren zum Entwurf eines Drucksensors gemäß des unabhängigen Anspruchs 12.

Bei Arbeiten zur Verbesserung eines Drucksensors ist es den Erfindern der vorliegenden Erfindung gelungen, eine weitere Quelle von störenden 20 Radialkräften zu identifizieren und weitgehend zu eliminieren. Der Grundgedanke der Erfindung wird nun anhand von Fig. 2 erläutert. Wenngleich der Grundkörper einer Druckmeßzelle hinreichend steif sein sollte, damit er bei einer Druckbeaufschlagung nicht verformt wird, so gilt dies natürlich nicht streng, sondern nur als idealisierte Aussage, denn das Elastizitätsmodul des 25 Grundkörpermaterials ist naturgemäß eine endlich Größe. So hat sich bei Berechnungen mit der Finite-Elemente-Methode (nachfolgend FEM) ergeben, daß die axiale Einspannung der Druckmeßzelle 6 zwischen einem Dichtring 8 und einem Stützring 2 eine elastische Durchbiegung der rückseitigen Stirnfläche des Grundkörpers in axialer Richtung um einige 10 nm bis 100 nm 30 bewirken kann.

- Bezüglich der Meßgenauigkeit des Drucksensors erweist sich in diesem Zusammenhang der Innendurchmesser  $\Phi_2$  des Stützrings 2 als besonders kritische Größe. Ist die Auflagefläche des Stützrings 2 zu groß, bzw. ist der Innendurchmesser  $\Phi_2$  zu klein, so bewirken die axialen Einspannkräfte, die durch den Dichtring 8 mit dem Durchmesser  $\Phi_8$  in die Druckmeßzelle bzw. den Grundkörper eingeleitet werden Biegemomente in der Druckmeßzelle, welche eine in der Summe radial auswärts gerichtete Verformung der Meßmembran bewirken, wie übertrieben in der Fig. 2b dargestellt ist. In ähnlicher Weise wird die dem Dichtring 8 zugewandte Stirnfläche radial einwärts elastisch verformt, wenn die Auflagefläche des Stützrings 2 zu klein bzw. der Innendurchmesser  $\Phi_2$  des Stützrings 2 zu groß ist (vergl. Fig. 2c). Die in den Figuren gezeigten Verschiebungsvektoren, dienen lediglich zur Veranschaulichung, sie sind nicht das Ergebnis von quantitativen Berechnungen.
- Die beschriebenen stirnseitigen radialen Verformungen wären grundsätzlich vertretbar, wenn sie konstant gehalten werden könnten. Dies ist jedoch nicht praktikabel, da die radialen Verformungen auch eine Funktion der axialen Einspannkräfte sind, welche insbesondere von der Alterung bzw. Temperung des elastischen Dichtrings abhängen, über den die axialen Einspannkräfte eingeleitet werden. Beispielsweise kann die axiale Einspannkraft irreversibel von 500 N auf etwa 400 N reduziert werden, wenn ein Drucksensor mit einem neu eingesetzten Dichtring auf 80° erwärmt wird.
- Veränderungen der radialen Verformung sind praktisch also nur durch ein Design zu verhindern, bei dem selbst bei maximaler axialer Einspannkraft keine nennenswerten radialen Verformungen auftreten.
- Die erfindungsgemäße Lösung beruht daher darauf, für eine Druckmeßzelle mit vorgegebenen Abmessungen und Materialeigenschaften einen Innendurchmesser  $\Phi_2$  des Stützrings 2 zu identifizieren, bei dem die radiale Verformung der Druckmeßzelle im Bereich der Fügestellen der Meßmembran weitgehend eliminiert ist, so daß die Variation der Membransteifigkeit aufgrund

der sich verändernden axialen Einspannkkräfte bis auf einen vertretbaren Restfehler minimiert ist. Es ist derzeit nicht möglich einen geschlossenen analytischen Ausdruck für die Dimensionierung des Stützrings als Funktion der anderen Abmessungen anzugeben. Jedoch ist es dem Fachmann anhand des hier vorgeschlagenen Lösungsweges ohne weiteres möglich, die erforderliche Dimensionierung des Stützrings mittels FEM durchzuführen. Geeignete Simulationssoftware ist beispielsweise unter der Marke ANSYS erhältlich.

Der erfindungsgemäße Drucksensor umfaßt

- 10 eine Druckmeßzelle mit einem im wesentlichen zylindrischen Grundkörper mit einem ersten Durchmesser und einer ersten Dicke, einen an einer Stirnfläche des Grundkörpers gefügten Meßmembran mit einem zweiten Durchmesser und einer zweiten Dicke, wobei die Druckmeßzelle axial eingespannt ist zwischen einem elastischen Dichtring mit einem dritten Durchmesser und einer dritten  
15 Dicke, der auf der membranseitigen Stirnseite der Druckmeßzelle aufliegt, und einem Stützring mit einem vierten Außendurchmesser, einem vierten Innendurchmesser und einer vierten Dicke, wobei der Stützring die von der Meßmembran abgewandte rückwärtige Stirnseite der Druckmeßzelle abstützt; wobei ferner die Abmessungen des Stützrings solchermaßen auf die  
20 Abmessungen des Dichtrings und der Druckmesszelle abgestimmt sind, daß eine durch die axiale Einspannung der Druckmeßzelle bedingte radiale Verformung der membranseitigen Stirnfläche so gering ist, daß der Spannenfehler des Drucksensors aufgrund einer Reduzierung der axialen Einspannkraft um mindestens 10% nicht mehr als etwa 0,02% beträgt.
- 25 Vorzugsweise sind die Abmesungen des Stützrings so weit optimiert, daß der Spannenfehler bei einer Reduzierung der Einspannkraft um mindestens 20% nicht mehr als etwa 0,02% beträgt.
- 30 Besonders bevorzugt sind die Abmesungen des Stützrings so weit optimiert, daß der Spannenfehler bei einer Reduzierung der Einspannkraft um mindestens 10% bzw. mindestens 20% nicht mehr als etwa 0,01% beträgt.

- Der Spannenfehler bezeichnet in diesem Zusammenhang die Abweichung der bei reduzierter axialer Einspannkraft auftretenden Differenz zwischen dem Meßwert bei Maximaldruck und dem Meßwert ohne Druckbeaufschlagung von der entsprechenden Differenz bei voller axialer Einspannkraft. Die volle axiale Einspannkraft bezeichnet beispielsweise die axiale Einspannkraft, mit der Drucksensoren mit neuen Dichtringen montiert werden, um auch nach einer Temperung bzw. Alterung des Dichtrings den spezifikationsgemäßen Druck sicher halten zu können.
- Bei einer derzeit bevorzugten Ausführungsform beträgt die axiale Einspannkraft zwischen 350 N und 550 N. Die gewählte Einspannkraft wird jedoch im Einzelfall von der Art der Dichtung und dem Nenndruck bzw. den Spezifikationen des Drucksensors abhängen.
- Vorzugsweise sind der Grundkörper und die Meßmembran aus dem gleichen Material gefertigt, wobei derzeit ein keramisches Material, insbesondere Korund, bevorzugt wird. Die Meßmembran weist bevorzugt etwa den gleichen Durchmesser wie der Grundkörper auf. Insbesondere bei keramischen Drucksensoren kann die Meßmembran mittels eines Aktivhartlots oder eines Glases an der Stirnseite des Grundkörpers befestigt sein. In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform umfaßt die Fügestelle ein Sinterkorund.
- Der Stützring weist in der derzeit bevorzugten Ausführungsform ebenfalls das gleiche Material wie der Grundkörper auf. Dies ist insofern vorteilhaft, als der Stützring dann den gleichen Wärmeausdehnungskoeffizienten wie der Grundkörper aufweist. Der Stützring sollte vorzugsweise ein Material aufweisen das mindestens so steif ist wie der Grundkörper. Der Außendurchmesser des Stützrings sollte nicht kleiner und vorzugsweise gleich dem Durchmesser des Grundkörpers sein. In einer derzeit bevorzugten Ausführungsform ist der Stützring fest mit dem Grundkörper verbunden. Dies kann durch Löten, beispielsweise mit einem Aktivhartlot, oder durch Kleben erfolgen. Schließlich

kann der Stützring einstückig mit dem Grundkörper gefertigt sein. Der Stützring weist bevorzugt mindestens die Dicke des Grundkörpers auf.

Der erfindungsgemäße Drucksensor umfaßt vorzugsweise ein metallisches Gehäuse, insbesondere aus Stahl, mit einer im wesentlichen zylindrischen Meßzellenkammer für die Druckmeßzelle, wobei das Gehäuse in seinem Inneren eine axiale Anschlagfläche aufweist, welche den Dichtring axial abstützt. Zudem ist vorzugsweise ein Gewindingerung vorgesehen, der in ein Innengewinde in der zylindrischen Meßzellenkammer eingreift und auf die der Druckmeßzelle abgewandten Rückseite des Stützrings eine axiale Einspannkraft ausübt.

Vorzugsweise sind Mittel vorgesehen, um die Reibung zwischen dem Gewindingerung und dem Stützring zu minimieren. Hierzu kann eine Kunststoffschicht bzw. -folie, beispielsweise Kapton oder Teflon, eine Hartstoffglattschicht, wie DLC (Diamond Like Carbon), oder ein Gleitmittel wie Molybdändisulfid eingesetzt werden. Vorzugsweise beträgt der Haftreibungskoeffizient zwischen dem Stützring und dem Gewindingerung weniger als 0,2.

Die Erfindung wird nun anhand eines in den beigefügten Figuren dargestellten Ausführungsbeispiels erläutert. Es zeigt:

Fig. 1: eine Schnittzeichnung durch einen erfindungsgemäßen Drucksensor,

Fign. 2a-c: schematische Darstellungen der radialen Verformung einer Druckmeßzelle aufgrund axialer Einspannkräfte; und

Fig. 3a-c: FEM Daten zur Verformung einer Druckmeßzelle unter axialen Einspannkräften.

Der in Fig. 1 gezeigte Drucksensor umfaßt eine Druckmeßzelle 6 die einen Grundkörper und eine Meßmembran aus Korund aufweist, die mittels eines Aktivhartlots an der vorderen Stirnfläche des Grundkörper befestigt ist. Ein Stützring aus Korund, dessen Außendurchmesser gleich dem Durchmesser  $\Phi_1$  des Grundkörpers ist, ist an der rückseitigen Stirnfläche des Grundkörpers mittels eines Aktivhartlots befestigt. Die Druckmeßzelle 6 und der Stützring 2 sind in einem Gehäuse aus Edelstahl angeordnet, welches eine zylindrische Meßzellenkammer 1 und einen Prozeßanschlußflansch 7 aufweist, welcher an einer stirnseitigen Öffnung der Meßzellenkammer 1 angeordnet ist. Der Prozeßanschlußflansch 7 erstreckt sich radial einwärts von der zylindrischen Wand der Meßzellenkammer 1 und bildet so eine axiale Anschlagfläche in der eine Ringnut 71 geformt ist zur Aufnahme eines elastischen Dichtrings 8. Die Druckmeßzelle 6 drückt mit der membranseitigen Stirnfläche axial gegen den Dichtring 8.

Die Einspannkraft ist durch die Kompression des Dichtrings 8 und dessen elastische Eigenschaften gegeben. Die Kompression des Dichtrings wird bei der Montage des Drucksensors über die Position eines Gewinderings 5 eingestellt, der rückseitig auf den Stützring 2 wirkt. Die elastischen Eigenschaften ändern sich durch Alterung bzw. Temperung des Dichtrings unter Kompression. Bei dem beschriebenen Ausführungsbeispiel beträgt die anfängliche Einspannkraft 500 N. Nach einer Temperung des Dichtrings, die beispielsweise im Betrieb durch Reinigungszyklen des Sensors mit Wasserdampf erfolgen kann, wird die Einspannkraft auf 400 N reduziert.

Die Identifizierung des optimalen Innendurchmessers  $\Phi_2$  des Stützrings wird nachfolgend für ein Ausführungsbeispiel erläutert. Die vorgegebenen Abmessungen waren: Grundkörperdurchmesser  $\Phi_1=32,4$  mm, Dicke des Grundkörpers  $D_1=5$  mm, Dicke der Membran  $160\mu\text{m}$ , Dicke der Aktivlotschicht  $55\mu\text{m}$ . Der Stützring wurde als „unendlich steif“ angenommen.

Mittels FEM wurde die Verformung für axiale Einspannkräfte von 500N und 400N bei verschiedenen Innendurchmessern  $\Phi_2$  des Stützrings ermittelt und die daraus folgende Spanne bei Beaufschlagung mit dem Nenndruck wurde ebenfalls mit FEM berechnet. Der Spannfehler ergibt sich durch Vergleich der Spannen bei 500 N Einspannkraft und 400 N Einspannkraft.

Durch Variation des Innendurchmessers  $\Phi_2$  kann der optimale bzw. ein hinreichend guter Wert ermittelt werden, wie anhand der Fign. 3a-c gezeigt wird.

10

Die Fign. 3a-c zeigt eine Vektordarstellung der Verschiebung für einen Ausschnitt um die Innenkante der Fügestelle zwischen dem Grundkörper und der Meßmembran für verschiedene Innendurchmesser  $\Phi_2$  des Stützrings.

15

In Fig. 3a beträgt der Innendurchmesser 27,8 mm. Dieser Innendurchmesser ist zu groß. Das gezeigte Vektorfeld bei einer Einspannkraft von 500 N zeigt eine radial einwärts gerichtete Verschiebung, welche die Membransteifigkeit reduziert. Die Spanne wird damit also größer. Die Spannenänderung gegenüber der nicht eingespannten Zelle beträgt etwa +0,8%. Bei einer Einspannkraft von 400N wird die Spannenänderung auf etwa +0,64% reduziert. Der Spannfehler beträgt somit -0,16%.

20

In Fig. 3b beträgt der Innendurchmesser 10,0 mm dieser Innendurchmesser ist zu klein. Das gezeigte Vektorfeld bei einer Einspannkraft von 500 N zeigt eine radial auswärts gerichtete Verschiebung, welche die Membransteifigkeit erhöht. Die Spanne wird damit also kleiner. Die Spannenänderung gegenüber der nicht eingespannten Zelle beträgt etwa -0,1%. Bei einer Einspannkraft von 400N wird die Spannenänderung auf etwa -0,08% reduziert. Der Spannfehler beträgt somit +0,02%.

25

In Fig. 3c beträgt der Innendurchmesser 23,2 mm dieser Wert ist nahezu ideal. Das gezeigte Vektorfeld bei einer Einspannkraft von 500 N zeigt im Bereich der

Fügestelle der Membran kaum eine radiale Verschiebung, welche die Membransteifigkeit verändern könnte. Die Spannenänderung gegenüber der nicht eingespannten Zelle beträgt etwa -0,01%. Bei einer Einspannkraft von 400N wird die Spannenänderung auf etwa -0,008% reduziert. Der Spannfehler  
5 beträgt somit +0,002%.

Somit ist für die gegebenen Abmessungen der Druckmeßzelle ein Innendurchmesser für einen Stützring gefunden, der die radiale Verformung der Druckmeßzelle aufgrund axialer Einspannkräfte weitgehend eliminiert. In der  
10 praktischen Umsetzung weist der Stützring vorzugsweise eine Dicke auf, die nicht weniger als die Dicke der Druckmeßzelle ist, um der Annahme einer hinreichend steifen axialen Abstützung gerecht zu werden.

In einer weiteren Ausgestaltung des Verfahrens zur Ermittlung der idealen  
15 Geometrie des Stützrings wurde ein Stützring endlicher Steifigkeit mit dem gleichen Elastizitätsmodul wie der Grundkörper der Druckmeßzelle angenommen. Sowohl die Dicke des Stützrings und dessen Innendurchmesser als auch die Reibung zwischen dem Stützring und dem Gewindinger wurde variiert. Im Ergebnis wurde bestätigt daß die zuvor beschriebene Simulation  
20 unter der Annahme eines unendlich steifen Stützrings bereits einen geeigneten Innendurchmesser identifiziert hatte. Die Annahme unendlicher Steifigkeit des Stützrings erweist sich für Stützringe mit einer Dicke die gleich der Dicke des Grundkörpers ist, natürgemäß angemessener als für dünnerne Stützringe. Bei dünneren Stützringen, beispielsweise mit der 0,25 fachen Grundkörperdicke, ist  
25 nach derzeitiger Erkenntnis der Einfluß der Reibung zwischen dem Stützring und dem Gewindinger stärker als bei Stützringen mit der Dicke des Grundkörpers.

Wenn ein dünner Stützring verwendet werden soll, ist es daher vorteilhaft, die  
30 Simulation mit dem aufwendigeren Modell durchzuführen, welches die Reibung zwischen dem Stützring und dem Gewindinger und die elastischen Eigenschaften des Stützrings berücksichtigt. Selbstverständlich sind auch die

Ergebnisse für dicke Stützringe, beispielsweise der mit Dicke des Grundkörpers, mit dem aufwendigeren Modell genauer, aber geeignete geometrien lassen sich, wie bereits erwähnt, schon mit dem einfacheren Modell identifizieren.

5

Schließlich wurden zusätzlich die Abmessungen des Gewinderings variiert wobei sich zeigte, daß der Einfluß dieser Abmessungen im wesentlichen vernachlässigbar ist.

10.

**Patentansprüche**

1. Drucksensor, umfassend

5 eine Druckmeßzelle mit

einem im wesentlichen zylindrischen Grundkörper mit einem ersten Durchmesser und einer ersten Dicke,

10 einen an einer Stirnfläche des Grundkörpers gefügten Meßmembran mit einem zweiten Durchmesser und einer zweiten Dicke,

wobei die Druckmeßzelle axial eingespannt ist zwischen

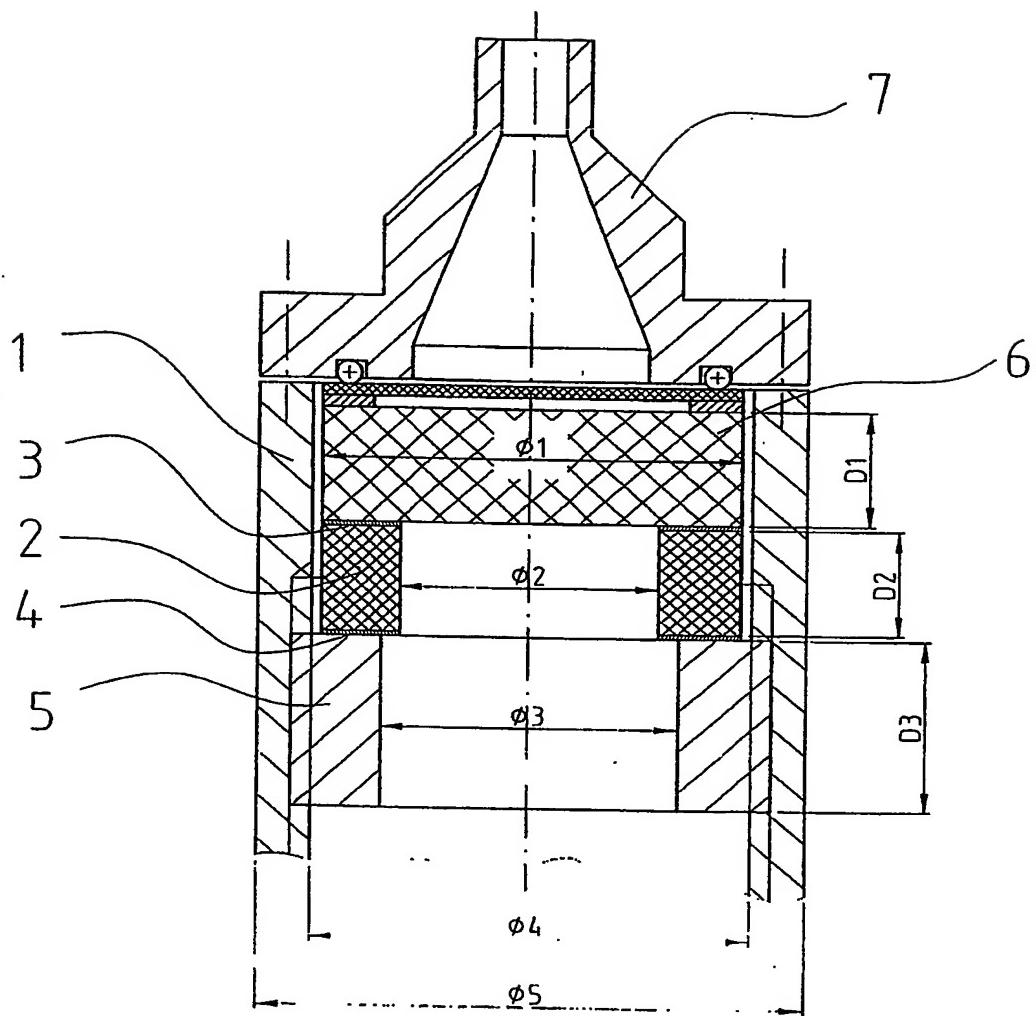
15 einem elastischen Dichtring mit einem dritten Durchmesser und einer dritten Dicke, der auf der membranseitigen Stirnseite der Druckmeßzelle aufliegt, und

20 einem Stützring mit einem vierten Außendurchmesser, einem vierten Innendurchmesser und einer vierten Dicke, wobei der Stützring die von der Meßmembran abgewandte rückwärtige Stirnseite der Druckmeßzelle abstützt; dadurch gekennzeichnet daß

25 die Abmessungen des Stützrings solchermaßen auf die Abmessungen des Dichtrings und der Druckmesszelle abgestimmt sind, daß eine durch die axiale Einspannung der Druckmeßzelle bedingte radiale Verformung der membranseitigen Stirnfläche so gering ist, daß der Spannefehler des Drucksensors aufgrund einer Reduzierung der axialen Einspannkraft um mindestens 10% nicht mehr als 0,02% beträgt.

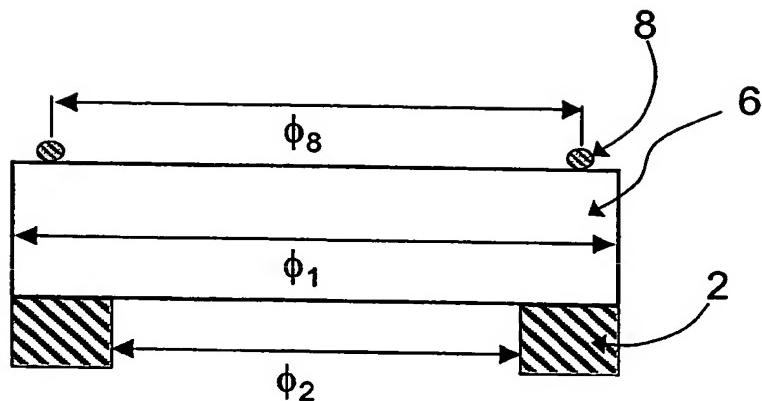
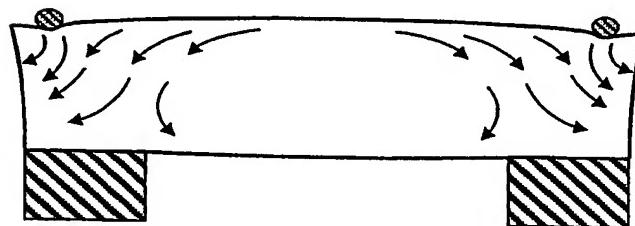
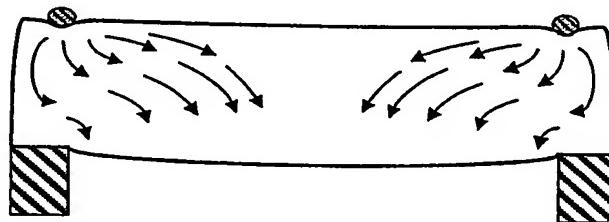
2. Drucksensor nach Anspruch 1, wobei der Innendurchmesser des Stützrings so gewählt ist, daß der Spannenfehler bei einer Reduzierung der Einspannkraft um mindestens 20% nicht mehr als etwa 0,02% beträgt.
- 5       3. Drucksensor nach Anspruch 1, wobei der Innendurchmesser des Stützrings so gewählt ist, daß der Spannenfehler bei einer Reduzierung der Einspannkraft um mindestens 10% bzw. mindestens 20% nicht mehr als etwa 0,01% beträgt.
- 10      4. Drucksensor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei axiale Einspannkraft zwischen 350 N und 550 N beträgt.
- 15      5. Drucksensor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Grundkörper und die Meßmembran aus das gleichen Material, insbesondere ein keramisches Material aufweisen.
- 20      6. Drucksensor nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Stützring das gleiche Material wie der Grundkörper aufweist.
- 25      7. Drucksensor nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei der Stützring fest mit dem Grundkörper verbunden ist.
8. Drucksensor nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei der Stützring mindestens die Dicke des Grundkörpers aufweist.
- 30      9. Drucksensor nach einem der Ansprüche 1 bis 8, weiterhin umfassend ein Gehäuse mit einer Meßzellenkammer zur Aufnahme der Druckmeßzelle, wobei das Gehäuse in seinem Inneren eine axiale Anschlagfläche aufweist, welche den Dichtring axial abstützt, und einen Gewindering, welcher in ein Innengewinde in einer Wandung der Meßzellenkammer eingreift und auf die der Druckmeßzelle abgewandten Rückseite des Stützrings eine axiale Einspannkraft ausübt.

10. Drucksensor nach einem der Ansprüche 1 bis 9, weiterhin umfassend Mittel zur Minimierung der Reibung zwischen dem Gewindering und dem Stützring.
- 5        11. Drucksensor nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei der Haftriebungskoeffizient zwischen dem Stützring und dem Gewindering weniger als 0,2 beträgt.
- 10      12. Verfahren zur iterativen Optimierung der Abmessungen eines Stützrings für einen Drucksensor, nach einem der vorherigen Ansprüche umfassend die Schritte:
  - (i)      Festlegen einer Geometrie für den Stützring,
  - 15      (ii)     Berechnen einer ersten Spannenänderung des Drucksensors unter einer ersten axialen Einspannungskraft;
  - 20      (iii)    Berechnen einer zweiten Spannenänderung des Drucksensors unter einer zweiten axialen Einspannungskraft;
  - (iv)     Ermittlung des Spannfehlers durch Vergleich der ersten Spannenänderung mit der zweiten Spannenänderung.
  - 25      (v)      Bewertung des Spannfehlers; und
  - (vi)     Variation der Geometrie des Stützrings, und wiederholen der Schritte (ii) bis (vi) bis eine geeignete Geometrie für einen hinreichend kleinen Spannfehler gefunden ist.

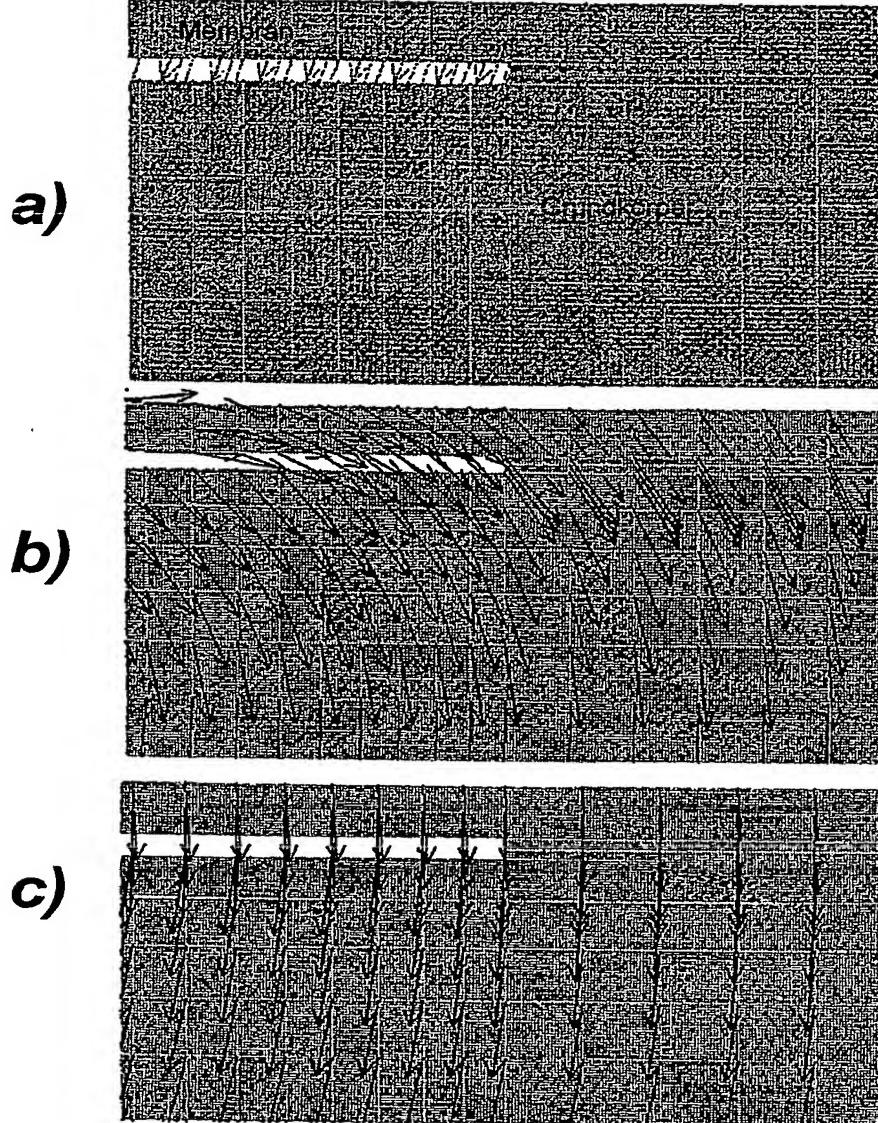


**Fig. 1**

BEST AVAILABLE COPY

**a)****b)****c)**

**Fig. 2**



*Fig. 3*

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International Application No PCT/EP 03/06961
---

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC 7    G01L9/00    G01L19/04    G01L19/06
---

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7    G01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 44 16 978 A (IFM ELECTRONIC GMBH) 16 November 1995 (1995-11-16) column 4, line 56 -column 5, line 15; figure 3 -----	1-12
A	US 5 712 428 A (SCHLEIFERBOECK DETLEF) 27 January 1998 (1998-01-27) column 4, line 34 - line 60 column 5, line 34 - line 65 -----	1-12
A	US 6 055 864 A (SCHMIDT NORBERT ET AL) 2 May 2000 (2000-05-02) the whole document -----	1-12

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the International filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the International filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the International search

22 October 2003

Date of mailing of the International search report

30/10/2003

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax. (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Zafiroopoulos, N

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International Application No  
PCT/EP 03/06961

Patent document cited in search report	Publication date		Patent family member(s)		Publication date
DE 4416978	A	16-11-1995	DE 4416978 A1		16-11-1995
US 5712428	A	27-01-1998	EP 0757237 A2 DE 59609042 D1 JP 2774267 B2 JP 9119880 A		05-02-1997 16-05-2002 09-07-1998 06-05-1997
US 6055864	A	02-05-2000	DE 19825889 A1		11-11-1999

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Internationale Aktenzeichen PCT/EP 03/06961
--

<b>A. KLASSEFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES</b> IPK 7    G01L9/00    G01L19/04    G01L19/06													
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK													
<b>B. RECHERCHIERTE GEBIETE</b> Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) IPK 7    G01L													
Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen													
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC													
<b>C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN</b> <table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th>Kategorie*</th> <th>Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile</th> <th>Betr. Anspruch Nr.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>DE 44 16 978 A (IFM ELECTRONIC GMBH) 16. November 1995 (1995-11-16) Spalte 4, Zeile 56 - Spalte 5, Zeile 15; Abbildung 3 ----</td> <td>1-12</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 5 712 428 A (SCHLEIFERBOECK DETLEF) 27. Januar 1998 (1998-01-27) Spalte 4, Zeile 34 - Zeile 60 Spalte 5, Zeile 34 - Zeile 65 ----</td> <td>1-12</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 6 055 864 A (SCHMIDT NORBERT ET AL) 2. Mai 2000 (2000-05-02) das ganze Dokument -----</td> <td>1-12</td> </tr> </tbody> </table>		Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.	A	DE 44 16 978 A (IFM ELECTRONIC GMBH) 16. November 1995 (1995-11-16) Spalte 4, Zeile 56 - Spalte 5, Zeile 15; Abbildung 3 ----	1-12	A	US 5 712 428 A (SCHLEIFERBOECK DETLEF) 27. Januar 1998 (1998-01-27) Spalte 4, Zeile 34 - Zeile 60 Spalte 5, Zeile 34 - Zeile 65 ----	1-12	A	US 6 055 864 A (SCHMIDT NORBERT ET AL) 2. Mai 2000 (2000-05-02) das ganze Dokument -----	1-12
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.											
A	DE 44 16 978 A (IFM ELECTRONIC GMBH) 16. November 1995 (1995-11-16) Spalte 4, Zeile 56 - Spalte 5, Zeile 15; Abbildung 3 ----	1-12											
A	US 5 712 428 A (SCHLEIFERBOECK DETLEF) 27. Januar 1998 (1998-01-27) Spalte 4, Zeile 34 - Zeile 60 Spalte 5, Zeile 34 - Zeile 65 ----	1-12											
A	US 6 055 864 A (SCHMIDT NORBERT ET AL) 2. Mai 2000 (2000-05-02) das ganze Dokument -----	1-12											
<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen													
<input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie													
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmelddatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmelddatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist													
* T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmelddatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist * V Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden * Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist * & Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist													
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des Internationalen Recherchenberichts												
22. Oktober 2003	30/10/2003												
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter  Zafiroopoulos, N												

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationaler Aktenzeichen

PCT/EP 03/06961

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 4416978	A	16-11-1995	DE	4416978 A1	16-11-1995
US 5712428	A	27-01-1998	EP	0757237 A2	05-02-1997
			DE	59609042 D1	16-05-2002
			JP	2774267 B2	09-07-1998
			JP	9119880 A	06-05-1997
US 6055864	A	02-05-2000	DE	19825889 A1	11-11-1999